

Innovative minimale Rechnerplattformen für den Einsatz im Bahnbereich

Andreas Kluge / Lars Johannes

Die Erfassung aktueller Zustände von mobilen und festen Anlagen mit zugehöriger Datenhaltung ist ein Hauptbestandteil der Digitalisierung im Bahnbereich. Der vorliegende Beitrag beschreibt einen am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. entwickelten Ansatz, bei dem kostengünstige Sensor- und Prozessorkomponenten modular zu anwendungsspezifischen Einheiten kombiniert werden. Diese kommunizieren die sensorisch erfassten georeferenzierten Zustände des Gleisoberbaus und daraus abgeleitete Parameter in Echtzeit zu einer zentralen Datenplattform. Ein Gefahren-, ein Ortungs- sowie ein leistungsstarkes Zustandserfassungssystem wurden bereits umgesetzt und befinden sich im Testbetrieb.

1 Einführung

Ein Forschungsschwerpunkt des Instituts für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) mit dem Technologiefeld „Datenerfassung und Informationsgewinnung“ sind die geisselektive Ortung und die fahrzeugseitige Zustandserfassung des Oberbaus. Dazu betreibt eine Forschungsgruppe ein Zweiradfahrzeug – das RailDrive (Rail Driving and Validation Environment) – das die Grundlage für die Erprobung und den Test innovativer Technologien bietet. Das Fahrzeug stellt ein agiles mobiles Testlabor dar, welches mit unterschiedlichen, auch verkehrsträgerfremden Sensoren ausgestattet ist. Die jahrelange Erfahrung in der hochfrequenten Datenerfassung und der Einsatz unterschiedlicher Sensorkonzepte schaffen die Grundlage für den hier vorgestellten Ansatz einer minimalen Rechnerplattform zur Erfassung, Verarbeitung und Kommunikation von Sensordaten.

2 Motivation

Die sensorische Messdatenerfassung im Umfeld der Bahn ist schon deshalb nicht

trivial, weil sie einen nicht unerheblichen organisatorischen Aufwand bedeutet. So müssen beispielsweise für die Vermessung eines Fahrwegs die Trasse regelmäßig reserviert, der Bereich je nach Bedarf extra gesichert und spezielles Mess-equipment genutzt werden. Die Deutsche Bahn betreibt für Messungen des Fahrwegs mehrere anwendungsspezifische Messfahrzeuge. Deren Unterhalt und Pflege stellt einen nicht zu vernachlässigenden monetären Anteil in der Gesamtbilanz dar. Eine weitere große Herausforderung ist die permanente digitale Überwachung von Anlagenteilen, wie zum Beispiel Bahnübergänge und deren Zustände, die nicht mit Messzügen erfasst werden können.

Der Ansatz der Forschungsgruppe am DLR ist es, die aktuellen Entwicklungen in der IT-Welt aufzugreifen und zu analysieren, ob „Kommerzielle Produkte aus dem Regal“ (Components off-the-shelf) genutzt werden können, um entsprechende Messsysteme zu entwickeln. Weiterhin wird untersucht, ob mögliche qualitative Defizite der Sensorik durch beispielsweise häufigere Messungen und entsprechende Auswertestrategien kompensiert und somit verwertbare Ergebnisse erzeugt werden können.

Die kostengünstige Herstellung solcher Systeme ermöglicht die Ausstattung vieler Fahrzeuge und Anlagenteile. Die dabei erfassten Daten sind hochaktuell und eröffnen viele neue Anwendungsgebiete. Ein Anwendungsgebiet ist die Datenerfassung unter Nutzung von regulär verkehrenden Zügen. Das entsprechende System wird als Regelzugmesssystem bezeichnet.

3 Anforderungen

Bei der Grundkonzeption eines Regelzugmesssystems, das einen Anwendungsfall darstellt, orientiert man sich stark an dem Vorbild einer existierenden Messplattform – im Falle des DLR am Forschungsfahrzeug RailDrive [1]. Daraus lassen sich generische Anforderungen ableiten, die ein Messsystem im

Allgemeinen erfüllen muss, um qualitativ verwertbare Ergebnisse zu erzeugen. Zu den generischen Anforderungen gehören die zeitsynchrone Datenerfassung, die Integrität und Qualität der Sensordaten, die Zuverlässigkeit des Systems, die Modularität in Hard- und Software sowie die Möglichkeit der Skalierung in Abhängigkeit vom jeweiligen Anwendungsfall.

Betrachtet man den Anwendungsfall eines Regelzugmesssystems, ergeben sich spezifische Anforderungen, wie geringe Kosten, kleine Bauform, Robustheit und adäquate Rechenleistung. Die einzelnen Anforderungen werden nachfolgend näher erläutert, ohne auf einen speziellen Anwendungsfall im Detail einzugehen.

■ **Zeitsynchrone Datenaufzeichnung:** Die gemeinsame Auswertung der erfassten Sensordaten muss in einem einheitlichen Zeitsystem erfolgen. Damit wird gewährleistet, dass die Daten in richtiger zeitlicher Reihenfolge und Abstand für weitergehende Berechnungen vorliegen.

Globale Navigations-Satelliten-Systeme (GNSS), zu denen das amerikanische GPS, das russische GLONASS und das im Aufbau befindliche chinesische System Beidou sowie das europäische System Galileo gehören, senden neben Ortungssignalen ebenfalls Zeitsignale aus, die für die Synchronisation von Datenaufzeichnungseinheiten genutzt werden können. Der Vorteil dieser Zeitsignale ist die weltweite Verfügbarkeit, die eine dezentrale Datenerfassung unter Nutzung des gleichen Zeitsystems ermöglicht.

■ **Integrität der Daten:** Die von der Sensorik erhobenen Daten werden auf der Rechneinheit gespeichert, herstellerspezifisch verarbeitet und je nach Anforderung weiter versendet. Die inhaltlichen Daten müssen dabei unverändert eintreffen, damit die entsprechenden Programme und Prozesse wie beabsichtigt ablaufen können. Sollten dennoch unerwünschte Modifikationen auftreten, müssen diese erkannt werden. Neben der ungewollten Veränderung der Daten müssen bei







Bild									
Name	Odroid-XU3	Radxa Rock Pro (lite)	Odroid-U3	Odroid-C1	Cubieboard 4	UDOO Quad	Cubieboard 3	Olimex A20	Olimex A10
OS	Linux	Linux	Linux	Linux	Linux	Linux	Linux	Linux	Linux
Prozessor	Cortex-A15 4x2GHz	Cortex-A17 4x1,8GHz	Cortex-A9 4x1,7GHz	Cortex-A5 4x1,5GHz	Cortex-A7 4x1,3 GHz	Cortex-A9 4x1GHz	Cortex-A7 2x1GHz	Cortex-A7 2x1GHz	Cortex-A8 1x1GHz
RAM	2GB DDR3	2GB (4GB) DDR3	2GB DDR3	1GB DDR3	2GB DDR3@480MHz	1GB DDR3	2GB DDR3@480MHz	1GB DDR3	512MB DDR3
Flash	-	8GB	-	-	8GB	-	-	4GB	-
USB	5+1 USB	1+1 USB	3+1 USB	4+1 USB	4+1 USB	3+1 USB	2+1 USB	2+1 USB	2+1 USB
Video connector	HDMI	HDMI	HDMI	HDMI	HDMI & VGA	HDMI	HDMI & VGA	HDMI	HDMI
Power	5V - 4A	12V - N/A	5V - 2A	5V - 2A	5V - 2.5A	6-15V - N/A	5V - 2.5A	6-16V - N/A	5V - N/A
Wi-Fi + connector	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja	Wifi Module + Nein	Ja + Nein	Nein	Nein
Bluetooth	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein
RTC	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein
Li-Po Battery	Nein	Nein	UPS + 30€	UPS + 30€	Ja	Connector	Ja	Ja	Ja
SATA	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Temperatur	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-35°C bis +60°C	N/A	-25°C bis +85°C	-25°C bis +85°C
Price	189 €	87 €	69,95 €	44 €	189 €	137 €	94,90 €	77 €	35 €
Übereinstimmungen	3	6	5	4	9	5	8	6	4

Tabelle 1: Vergleich minimaler Rechnerplattformen

Quelle: DLR

der Datenkommunikation die zeitliche Abfolge beachtet und die maximalen Verzögerungszeiten eingehalten werden.

■ **Zuverlässigkeit:** Die Zuverlässigkeit ist in der DIN 40041:1990-12 definiert als: „Beschaffenheit einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, während oder nach vorgegebenen Zeitspannen bei vorgegebenen Anwendungsbedingungen die Zuverlässigkeitsforderung zu erfüllen.“ So kann die Zuverlässigkeitsforderung als Wahrscheinlichkeit formuliert werden, mit deren Hilfe anschließend eine Aussage über die Eignung des Systems getroffen werden kann.

■ **Qualität der Sensordaten:** Für verwertbare Aussagen über den aktuellen Zustand von Fahrzeugen und Anlagen wird hochwertige Sensorik benötigt. Damit die Kosten des Gesamtsystems niedrig bleiben, werden kostengünstige (low-cost) Sensoren eingesetzt, wobei low-cost nicht mit low-quality gleichzusetzen ist. Der Schwerpunkt liegt unter anderem auf herkömmlicher industrieller Sensorik, die im Bahnumfeld bisher nicht für die entsprechende Anwendung eingesetzt wird.

■ **Modularität:** Verschiedene Anwendungen erfordern unterschiedliche Sensoren zur Erfassung des Umfeldes. Die Modularität betrifft hierbei neben der Hardware in Form der Sensorik ebenfalls die Software zur Verarbeitung der Sensordaten. Ein modularer Ansatz ermöglicht es, unterschiedliche Sensorik zu einem spezifischen Anwendungsfall hinzuzufügen oder zu entfernen, ohne die anderen Bestandteile in Hard- oder Software ändern zu müssen.

■ **Skalierbarkeit:** Hierunter wird verstanden, dass die Software auf Rechnersystemen unterschiedlicher Leistungsklassen einsetzbar ist. Das wird insbesondere dann interessant, wenn die spezifischen Anforderungen der

Anwendungen dieses erfordern. Dazu gehört beispielsweise ein geringer Stromverbrauch aufgrund einer batteriebetriebenen Stromversorgung in Kombination mit einer kompakten Bauweise. Beide Anforderungen erfordern ein stromsparendes und kleines Hardwarelayout. Die Skalierbarkeit wird durch den Austausch der zugrundeliegenden Plattform realisiert. Die Software bleibt davon unberührt und ist auf allen Systemen lauffähig.

Die spezifischen Anforderungen ergeben sich unmittelbar aus den Anwendungen. Dazu gehören die Kosten, die Bauform, die Robustheit und die letztendlich benötigte Rechenleistung. Für den Bau eines kleinen und robusten Systems ist in Tabelle 1 eine Auflistung möglicher Rechnerplattformen für eine Vorabanalyse vorgenommen worden. Wie aus der Tabelle hervorgeht, bieten viele Hersteller minimale Plattformen zu niedrigen Preisen an. Vorteilhaftes Eigenschaft der unterschiedlichen Rechner sind in der Farbe Blau dargestellt. Werden die positiven Eigenschaften addiert, ergibt sich eine Gesamtwertung, die in der Tabelle in der Zeile „Übereinstimmungen“ dargestellt ist. So ist ein zusätzlicher Flash-Baustein positiv anzusehen, da somit das Betriebssystem von den Daten physisch getrennt werden kann. Bei einer harten Abschaltung durch einen Stromverlust der Einheit kann ein nicht zu Ende geführter Schreibzyklus der Sensordaten-Speicherung das Betriebssystem in seiner Lauffähigkeit nicht gefährden.

Da die Rechneinheit in der Regel an der Stromversorgung des Fahrzeuges angeschlossen ist, wird die Stromversorgung der Rechneinheit abgeschaltet, sobald das Fahrzeug abgestellt wird. Für ein gesichertes Herunterfahren der Plattform ohne Datenverlust ist deshalb ein eigener Akku in Verbindung mit einer Ladeschaltung nötig. Viele Hersteller haben

diese Anforderung erkannt und bieten mittlerweile Lösungen an. Das hier aufgeführte „Cubieboard 4“ ist als kleines und robustes System als Grundlage für verschiedene Fragestellungen gut geeignet, da es bereits Bestandteile integriert hat, die bei den anderen Kandidaten zusätzlich erworben werden müssen. Der erhöhte Preis ist somit gerechtfertigt.

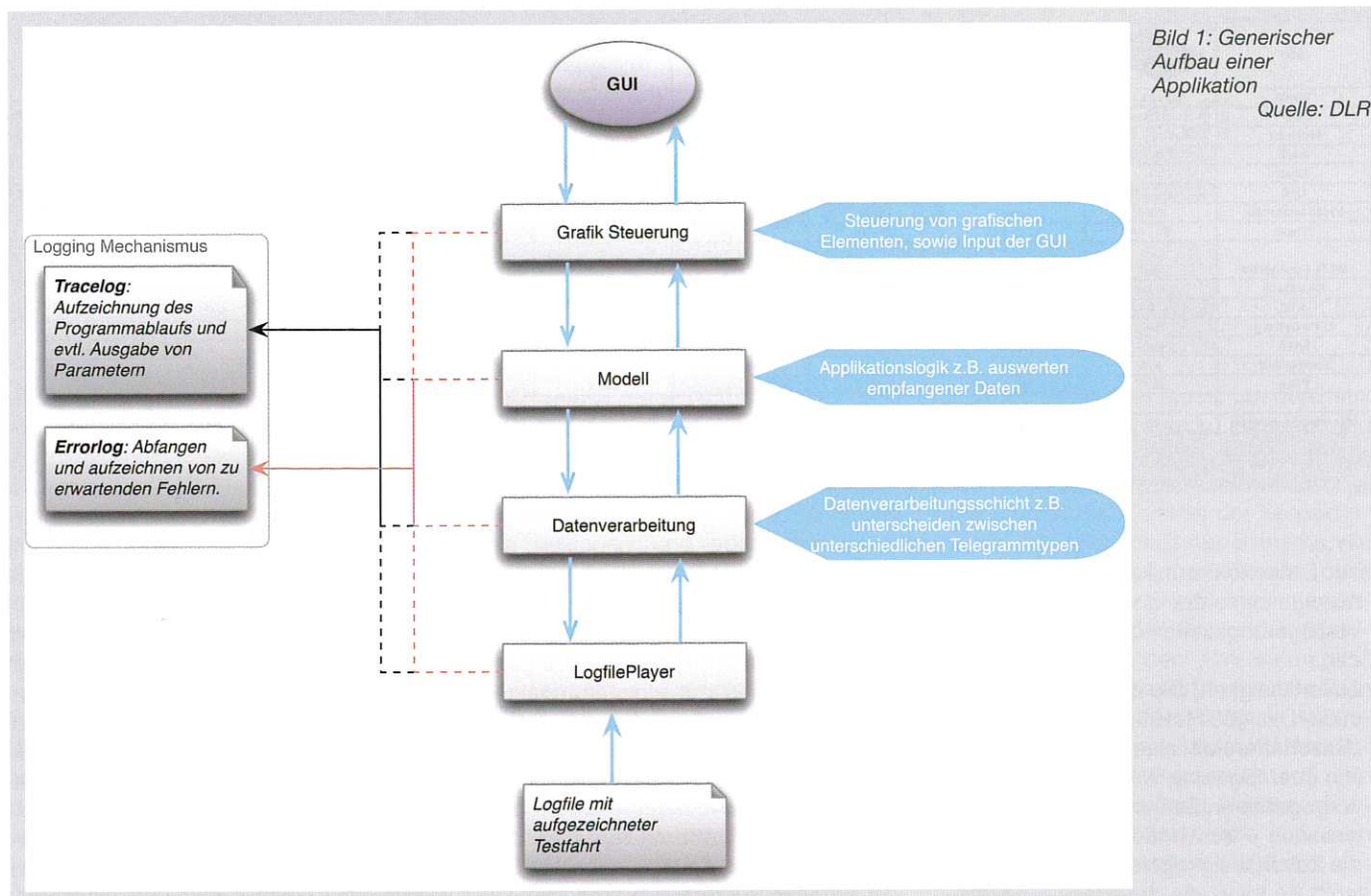
Die verschiedenen Anwendungen eines mobilen Messsystems erfordern ein modulares Konzept, welches im nachfolgenden Kapitel näher erläutert wird.

4 Hard- und Softwarearchitektur

Am Institut für Verkehrssystemtechnik wurde eine auf C++ und modernen Software-Design-Pattern basierende Testumgebung entwickelt. Dabei wurde ein Drei-Schichtenmodell (Bild 1) umgesetzt. Für die Entwicklung von Algorithmen zur Verarbeitung der Sensordaten werden die notwendigen Informationen in der entsprechenden Schicht (Datenverarbeitung, Modell sowie Grafik-Steuerung) bereitgestellt.

Ein Logging-Mechanismus gewährleistet die verlustfreie Aufzeichnung der von der Sensorhardware gelieferten Rohdaten. Diese können zur späteren Nachprozessierung ohne Einschränkung wiedergegeben werden. Dem „Model-View Design Pattern“ folgend, werden die Darstellung und die Verarbeitung der Daten strikt voneinander getrennt [2], [3]. Dadurch werden eine hohe Wiederverwendbarkeit und ein geringer Wartungsaufwand des erstellten Codes erreicht. Die Trennung zwischen der grafischen Ausgabe und dem Berechnungsmodul sowie die Separierung des Logging-Mechanismus führen zu einer hohen Performance der jeweiligen Applikation und steigern die Modularität der Software.

Jede Einzelapplikation kommuniziert über einen Datenbus mit beliebigen wei-



teren Applikationen. Dadurch wird eine Struktur möglich, die es gestattet Sensorapplikationen zu entwickeln, die ihre Daten an Datenfusionsapplikationen kommunizieren, die wiederum ihr Ergebnis an eine grafische Oberfläche oder über das Internet an einen zentralen Datenserver weitergeben. In Bild 2 ist eine exemplarische Darstellung der Struktur gezeigt, wie sie in den entwickelten mobilen Einheiten zum Einsatz kommt.

Die modulare Softwarearchitektur und der Datenaustausch über das weitverbreitete Netzwerkprotokoll UDP (User Datagram Protocol) bietet das Fundament für einen ebenfalls modularen Hardwarean-

satz. Sämtliche Softwaremodule unterschiedlicher Komplexität können auf verschiedene Einheiten verteilt werden. Sie bieten somit eine optimale Ressourcennutzung. Durch den parallelen Einsatz kostengünstiger Hardware kann die Ausfallwahrscheinlichkeit des Gesamtsystems herabgesetzt und sicherheitskritische Anwendungen umgesetzt werden.

5 Variationen der entwickelten Plattformen

Aus den verschiedenen Anwendungsgebieten sind verschiedene Variationen

der Rechnerplattform in prototypischer Form entwickelt worden. Die wichtigsten Kerntypen sind nachfolgend vorgestellt.

5.1 Kleines Regelzugmesssystem

Bei diesem System handelt es sich um die Minimalversion eines Regelzugmesssystems für den Einsatz im Bahnbereich. Es integriert die Komponenten Rechnerplattform, hochgenaues GNSS-Modul, GSM-Modul, eine eigene Stromversorgung sowie einen Hartschalenkoffer in Verbindung mit einer magnetischen Multibandantenne zu einem Gesamtsystem. Die Abmessungen

gen sind klein und die Bauweise ist sehr robust. Die Umsetzung mit schraubbaren Steckverbindungen führt zu einer hohen Zuverlässigkeit und ermöglicht den dauerhaften Einsatz, da Kabel nicht unbeabsichtigt entfernt werden können. Das System ist vornehmlich für die gleisgenaue Ortung von Fahrzeugen und die georeferenzierte Aufnahme von Sensordaten mit niedrigen Taktraten geeignet. Dem modularen Konzept folgend ist das System erweiterbar und kann beispielsweise auch zur georeferenzierten Erfassung des Energieverbrauches eingesetzt werden. In Bild 3 ist die Plattform dargestellt.

5.2 Großes Regelzugmesssystem

Dieses Regelzugmesssystem wurde zur Erfassung hochqualitativer und hochfrequenter Sensoren entwickelt [4]. Das System besteht ebenfalls aus einem Hartschalenkoffer. Es beinhaltet im Vergleich zum kleinen Regelzugmesssystem einen leistungsstarken integrierten Rechner mit Bahnzertifizierung und einen zusätzlichen Analog-Digitalwandler für die Sensordatenerfassung. Typischer Einsatzzweck ist die Zustandsdetektion des Oberbaus, bei der hochfrequent die Beschleunigungen von triaxialen Sensoren direkt am Achszapfen gemessen werden. Weiterhin werden durch eine hochgenaue GNSS-Sensorik Positions- und Rohdaten erfasst [5], [6]. Ergänzt wird das System durch eine weitere Inertialsensorik, die im Innenraum des Regelfahrzeugs installiert wird. Anders als beim kleinen Regelzugmesssystem müssen die aufgezeichneten Daten in regelmäßigen Intervallen direkt von der Einheit heruntergeladen werden. Eine Kommunikation zu einem zentralen Datenserver über ein GSM-Modul findet nur für Positions- und Statusdaten der Rechereinheit und des Fahrzeugs statt. Das entstehende Datenvolumen der hochfrequent aufzeichnenden Beschleunigungssensoren zur Erfassung von Schäden der Infrastruktur kann nicht zuverlässig über eine GSM-Verbindung kommuniziert werden. In Bild 4 ist das System dargestellt. In der aktuellen Entwicklung wird unter Beachtung des Brandschutzes nach EN45545-2 (Railway applications: Fire protection on railway vehicles) bzw. nach DIN 5510 (Brandschutz-Zertifizierungen für Schienenfahrzeuge) ein feuerfestes Metallgehäuse statt des Hartschalenkoffers verwendet.

5.3 Das Gefahrenwarnsystem – Worker

Neben den beiden Regelzugmesssystemen entstand unter Verwendung des modularen Konzepts das Gefahrenwarnsystem



Bild 4: Großes Regelzugmesssystem

Quelle: DLR

tem „Worker“. Die Grundlage für dieses System ist eine herkömmliche Baustellenlampe. Im Einschaltzustand wird durch ein intervallbasiertes Blinken eine Gefahrenstelle markiert. Im Inneren befinden sich im unveränderten Zustand zwei 6-V-Akkublocke. Einer der beiden Blöcke wurde entfernt und eine minimale Rechnerplattform integriert. Diese wurde anschließend mit einem GNSS-Sensor und einem GSM-Modul verbunden, die sich ebenfalls im Gehäuse befinden. Die Lampe ist im Aussehen und in der Bedienung nahezu mit der originalen Baustellenlampe identisch. Sie kann nun als Verkehrswarnsystem eingesetzt werden. Schaltet man sie ein, fängt sie an zu blinken, bestimmt ihre Position und kommuniziert diese mit einer eindeutigen Identifikation zu dem DLR-eigenen Datenmanagementsystem. Dort wird sie als besonderer Client mit einem Baustellensymbol dargestellt. Durch die eindeutige Zuordnung kann sie zum Beispiel auch als Unfallmarkierung für Polizeifahrzeuge oder im Rangierbetrieb als

Zugschlussmarkierung genutzt werden. In Bild 5 ist das Gefahrenwarnsystem von außen und in der Innenansicht dargestellt.

6 Das zentrale Datenmanagementsystem

Mit dem Einsatz und der Entwicklung der minimalen Rechnersysteme wurde auch ein mittel- bis langfristiges Ziel verfolgt. Es sollte ein schlüsselfertiges Gesamtsystem geschaffen werden, das es erlaubt, die erfassten Daten der mobilen Einheiten mit einer zentralen Datenmanagementlösung zusammenzuführen. Dieser Ansatz wurde umgesetzt. Die Daten werden nun an zentraler Stelle prozessiert und entsprechende Mehrwerte generiert. Eine Fragestellung ist beispielsweise die Möglichkeit der hochgenauen Ortsbestimmung durch Satellitennavigationssysteme. Eine anschauliche Visualisierung aussagekräftiger Parameter ermöglicht einen sofortigen Überblick, in welchen Bereichen im Schienennetz keine

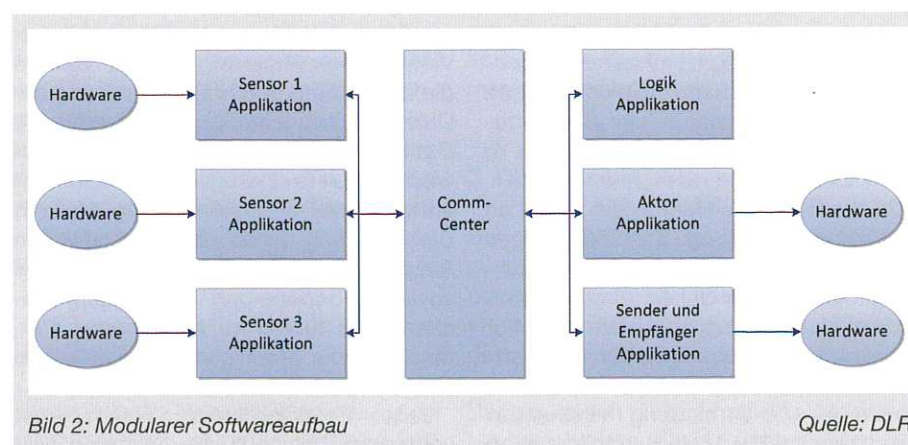


Bild 3: Kleines Regelzugmesssystem

Quelle: DLR

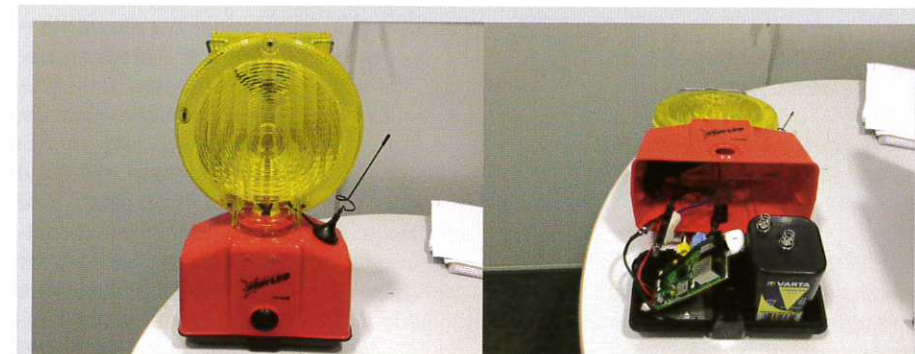


Bild 5: Gefahrenwarnsystem

Quelle: DLR



Bild 6: Mobile Einheit auf dem Diagnosefahrzeug der Schweizerischen Bundesbahnen. Quelle: DLR

oder nur eine sehr schlechte Ortsbestimmung möglich ist. Diese Bereiche könnten nun durch anderweitige infrastrukturelle Ortungselemente, wie Balisen, ausgestattet werden. Die Datenplattform nutzt als Grundlage der Visualisierung eine geographische Karte, in der über zuschaltbare Grafikebenen diverse Merkmale, wie die Satellitenanzahl, eingeblendet werden können. Des Weiteren können georeferenzierte Beschleunigungsdaten bzw. daraus abgeleitete Parameter aus dem kleinen und dem großen Regelzugmesssystem genutzt werden, um einen Eindruck über die Beschaffenheit des Oberbaus zu erhalten. Die Berechnung geeigneter Größen ist Gegenstand der Arbeiten am DLR. Ein weiterer möglicher Anwendungsfall konnte in einem anderen Forschungsprojekt im Rahmen des Schaufens Elektromobilität des Bundes gezeigt werden. Hier wurde eine hochgenaue Ankunftsprognose für Züge entwickelt, die es ermöglicht, die Bewegungsdaten sowie Fahrplandaten so zu kombinieren, dass in Abhängigkeit der Fahrzeugeigenschaften eine präzise Vorhersage über den weiteren Fahrtverlauf möglich ist. Somit können für die darauf folgenden Halte erwartete Verspätungen berechnet werden.

7 Im Einsatz

7.1 Hafenbetriebsgesellschaft Braunschweig

In örtlicher Nähe zum Institut für Verkehrssystemtechnik befindet sich das Gelände des Braunschweiger Hafens mit der dort ansässigen Hafenbetriebsgesellschaft. In einer langjährigen Kooperation nutzt das DLR die Gleisinfrastruktur des Hafens für Testfahrten [5]. Auch die minimalen Rechnerplattformen wurden zum Großteil auf diesem Gelände getestet. Um Erfahrungen über die Langzeitznutzung der Ein-

heiten zu bekommen, wurden die beiden Rangierloks des Betriebes mit Einheiten des DLR ausgestattet. Im ersten Schritt kamen dabei zwei kleine Regelzugmesssysteme zur Lokalisierung der Rangierloks zum Einsatz. Aktuell fährt auf der Hauptlok ein großes Regelzugmesssystem mit, das nun auch im Dauertest erstmals den Aspekt Zustandsdetektion des Oberbaus adressiert. Die Zusammenarbeit mit der Hafenbetriebsgesellschaft ermöglicht durch die reale Testumgebung die ständige Weiterentwicklung der minimalen Rechnerplattformen.

7.2 Diagnosefahrzeug der Schweizerischen Bundesbahnen

Bei den Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) ist insbesondere die gleisselektive genaue Ortung ein wichtiger Aspekt bei Fahrten mit dem Diagnosefahrzeug (DFZ). Bei einem Ideenaustausch im Jahr 2014 entstand der Gedanke, die Einheiten des DLR für die Untersuchung der GNSS-Performance im Gleisnetz der SBB zu nutzen [6]. Besondere Rahmenbedingungen machten es notwendig, eine modifizierte Version des kleinen Regelzugmesssystems zu entwickeln. Diese Einheit sollte vollständig autark einsetzbar sein, sich keiner bereits vorhandenen Stromquellen oder Antennen bedienen und auch bei erhöhten Temperaturen zuverlässig funktionieren. Das Ergebnis ist eine auf Akkumulatoren basierende Lösung, die eine durchgängige Laufzeit von ca. 130 h ermöglicht. Eine spezielle Multibandantenne mit Zertifizierung für das Gleisnetz der SBB wurde auf dem Dach des Diagnosefahrzeugs installiert. Die Belüftung der Einheit erfolgt über passive Lufthutzen. In Bild 6 ist die Einheit im eingebauten Zustand auf dem Diagnosefahrzeug dargestellt.

7.3 Wisentatalbahn

Die Wisentatalbahn ist eine Museumsbahn, die einen VT 98 als Ausflugsbahn in der Nähe von Schleiz betreibt. Über die Zusammenarbeit mit der Deutschen Regionaleisenbahn wurde der Kontakt zur Wisentatalbahn hergestellt. Auch hier fährt ein kleines Regelzugmesssystem mit, um den Dauereinsatz und die Qualität der Lokalisierung zu untersuchen.

7.4 errix GmbH

Die errix GmbH befährt das Gleisnetz zwischen Harz und Heide in Niedersachsen. Als 100 %-Tochter der Osthannoverschen Eisenbahn, mit der das DLR einen kontinuierlichen Kontakt pflegt, entstand die Idee, auch hier ein Regelzugmesssystem unter realen Bedingungen zu testen. Geplant ist die Ausstattung eines Alstom-Fahrzeugs der errix mit der neuesten Version des großen Regelzugmesssystems. Erste Besichtigungen und Gespräche mit den Mitarbeitern in Uelzen und der Landesnahverkehrsgesellschaft (LNVG) in Hannover verliefen überaus konstruktiv und die Umsetzung des Vorhabens wird derzeit am DLR in Abstimmung mit allen Beteiligten vorangetrieben.

8 Fazit

Das gezeigte Gesamtsystem stellt eine konsequente Weiterentwicklung des modularen Softwareansatzes zu einem ebenso modularen Hardwareansatz dar. Es ist im Konzept bewusst anwendungsorientiert gestaltet, um auch zukünftige Fragestellungen einfach bearbeiten zu können. Mit der generischen Kernkomponente als Fundament für einen ganzheitlichen Digitalisierungsansatz kann die gesamte Infrastruktur im Bahnumfeld zugreifbar und überwachbar gestaltet werden. In kommenden Entwicklungsstufen wird die Hardware leistungsstärker, kleiner und robuster. Der Einsatz noch kleinerer Rechnerplattformen scheint vor dem Hintergrund der schnellen Entwicklung auf dem Markt der Minimalsysteme möglich. So sind jetzt schon weitere Anwendungsgebiete denkbar. Ausreichend kleine Einheiten könnten beispielsweise an Güterzügen eingesetzt werden, um den Inhalt von Containern zu überwachen. Auch auf dem Gebiet der Stromversorgung sind weitere Verbesserungen zu erwarten. So trägt das Thema Elektromobilität wesentlich dazu bei, dass höhere Batteriekapazitäten auf kleinstem Raum möglich werden. Damit sind vollständig autarke Einheiten möglich, die eine Datenerhebung

über mehrere Monate gestatten. Aufbauend auf den Daten kann dann eine sinnvolle Auswertung unter Einbeziehung des nötigen Kontextwissens durchgeführt werden. So können beispielsweise Schäden an der Infrastruktur entdeckt und deren weiterer Verlauf prognostiziert werden. Auch hier forscht das DLR intensiv an Lösungen.

LITERATUR

- [1] Lüddecke, K.; Kluge, A.: Mobiles Labor RailDrive – synchrone Erfassung von Sensordaten, EI – Der Eisenbahningenieur 01/2014, S. 46-49
- [2] Buschmann, F.: Pattern-orientierte Software-Architektur: Ein Pattern-System, 1. korrig. Nachdr. Bonn [u.a.], Addison-Wesley, 2000 (Professionelle Softwareentwicklung)
- [3] Gamma, E.: Entwurfsmuster: Elemente wiederverwendbarer objektorientierter Software, Bonn, Reading, Mass. [u.a.], Addison-Wesley, 1996 (Professional computing)
- [4] Almeida, E.; Johannes, L.; Groos, J. C.: „TrackScan“ – Ein portables Ortungssystem zur georeferenzierten Erfassung des Gleisoberbaustands, DGON POSNAV 2014, 20.-21. Nov. 2014, Berlin
- [5] Johannes, L.; Almeida, E.: Georeferencing of condition information from railway infrastructure (European Navigation Conference ENC), Bordeaux, 7.-10. April 2015, URL <http://elib.dlr.de/96119/>
- [6] Johannes, L.; Almeida, E.; Groos, J.C.; Adam, S.: Georeferenzierte Erfassung von Messdaten mit Schienenfahrzeugen: Ein kostengünstiges Multi-Sensor-System zur gleisgenauen Georeferenzierung wird auf dem Diagnosefahrzeug DFZ der SBB erprobt, EI – Der Eisenbahningenieur 11/2015

Die Autoren

MBA Dipl.-Inf. (FH) Andreas Kluge
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Verkehrssystemtechnik des
Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V.
Anschrift: Lilienthalplatz 7,
D-38108 Braunschweig
E-Mail: andreas.kluge@dlr.de

Dr.-Ing. Lars Johannes
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Verkehrssystemtechnik des
Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V.
Anschrift: Lilienthalplatz 7,
D-38108 Braunschweig
E-Mail: lars.johannes@dlr.de

■ SUMMARY

Innovative minimal computer platforms for use in the rail sector

The determination of current states of mobile and fixed assets as well as appropriate data storage is an essential part of digitalization in the rail sector. The present paper proposes an approach developed at the DLR using low-cost sensors and processing components and combining them as modules to application specific units. These units communicate sensor detected georeferenced states of the track superstructure and derived parameters in real-time to the central data platform. A hazard, a positioning and a powerful condition detection system have already been implemented and are in test mode.



Sicherheit für die Zukunft.
Unsere Eisenbahn-Signaltechnik.